

Verwendung einer Analysensubstanz zur Detektion eines  
Explosivstoffes

Gebiet der Erfindung

5

Die Erfindung betrifft eine Verwendung einer Analysensubstanz zur Detektion eines Explosivstoffes, wobei die Analysensubstanz spezifisch zumindest an eine molekulare Teilstruktur des Explosivstoffes bindet und wobei ein 10 Bindungseignis zwischen der molekularen Teilstruktur und der Analysensubstanz detektiert wird, sowie Analysensubstanzen für solche Verwendungen bzw. Verfahren.

Solche Analysensubstanzen können beispielsweise in der 15 Umweltanalytik, speziell der Luft-, Trinkwasser- und/oder Bodenanalytik, aber auch in anderen Bereichen der bio-chemischen Analytik sowie der medizinischen Diagnostik zum Nachweis von Explosionsstoffen bzw. deren chemischen Hauptkomponenten eingesetzt werden. Auch ist der Einsatz 20 im Rahmen von sicherheitstechnischen Maßnahmen möglich, beispielsweise zur Prüfung auf Anwesenheit von Sprengstoffen in Transportgütern, wie Fluggesäck und dergleichen.

Explosivstoffe im Sinne der DIN 20163 (Sept.1985) sind 25 solche explosionsfähigen Stoffe, die technisch als Sprengstoffe, Treib- und Schießstoffe, Zündmittel, Anzündstoffe oder pyrotechnische Erzeugnisse verwendet werden. Als Sprengstoffe werden lediglich beispielhaft organische Nitro-Verbindungen wie TNT (Trinitrotoluol), 30 Nitramine (Hexogen=RDX=Hexahydro-1,3,5,-trinitro-1,3,5-striazin), Nitrosamine und Pikrinsäure genannt. Aber auch anorganische Substanzen, wie beispielsweise Bleiazid fallen hierunter.

Analysesubstanzen sind Substanzen, die in einem Analyseverfahren zur Bestimmung von Art und Menge eines Stoffes eingesetzt werden, wobei die Menge gebundener

5 Analysensubstanz direkt oder indirekt halbquantitativ oder quantitativ bestimmt und hieraus die Menge bzw. Konzentration an Explosivstoff ermittelt und angezeigt wird. Der Begriff der halbquantitativen Bestimmung umfaßt auch eine Information bezüglich des Über- oder Unterschreitens einer 10 definierten Grenzmenge gebundener Analysensubstanz und folglich einer hiermit korrelierten Grenzmenge bzw. Grenzkonzentration Explosivstoff (anwesend/abwesend im Falle einer Grenzmenge, welche durch die Detektionsempfindlichkeit bestimmt ist).

15

Ein Bindungsereignis kann jede Form einer (physiko-) chemischen Bindung/Wechselwirkung sein, z.B. ionische Bindung, kovalente Bindung, Van der Waals Kräfte oder Wasserstoffbrückenbindungen.

20

Eine molekulare Teilstruktur kann eine funktionelle Gruppe, eine Kombination mehrerer funktioneller Gruppen, insbesondere benachbarter Gruppen, oder auch ein Kohlenstoffgerüst, mit oder ohne funktionellen Gruppen 25 sein. Bezeichnend hierbei ist, dass es sich um einen Ausschnittsbereich eines Moleküls oder einer Verbindung und nicht um das gesamte Molekül handelt. Entsprechendes gilt im Falle anorganischer Sprengstoffmoleküle.

30 Die Detektion eines Bindungsereignisses kann mittels optischer, chemischer, biologischer aber auch sonstiger physikalischer bzw. physikalisch-technischer Methoden erfolgen.

Hintergrund der Erfindung und Stand der Technik.

5 Explosivstoffe können einerseits aufgrund der Explosiveigenschaften ein beachtliches Risiko darstellen. Beispielsweise in Sicherheitsbereichen, wie Flughäfen etc., müssen Explosivstoffe detektiert werden, beispielsweise um unerwünschte Handlungen unter Verwendung der Explosivstoffe  
10 durch Personen zu verhindern. Andererseits sind Explosivstoffe meist zudem human- und/oder ökotoxisch und es ist daher wünschenwert, auch geringste Mengen in Boden oder Wasserproben, auch in Aerosolen, nachweisen zu können, vorzugsweise einschließlich der Detektion des spezi-  
15 fischen, vorgefundenen Explosivstofftyps. Letztes ist von besonderer Bedeutung beispielsweise im Rahmen von Konversionsmaßnahmen an stillgelegten militärischen Einrichtungen. Schließlich ist es in der Forensik oft nötig, Explosivstoffspuren nachzuweisen und den Explosivstofftyp  
20 zu identifizieren.

Aus der Praxis sind verschiedenste klassische (nass-) chemische Analysenmethoden bekannt. Diese sind in der Anwendung aufwendig, benötigen ein Labor (on site Messungen  
25 sind in aller Regel nicht möglich) und liefern keine schnellen Ergebnisse. Zudem befriedigen die erreichbaren Nachweisgrenzen nicht. Proben müssen vorher ggf. aufwändig aufkonzentriert werden, um die hohe Nachweisgrenze dieser Testsysteme unterschreiten zu können. Eine solche Aufkonzentrierung von Proben ist zusätzlich zeitaufwendig und kostenintensiv. Zudem weisen die insofern bekannten Testsysteme Kreuzempfindlichkeiten zu weiteren, in den Proben enthaltenen Stoffen auf.

Ein faseroptischer Biosensor zur Detektion von TNT basierend auf einem Immunoassay unter Verwendung einer fluoreszierenden Detektorverbindung, nämlich Antikörper, 5 ist aus der Literaturstelle Craig, H. et al, Field Demonstration of On-Site Analytical Methods for TNT and RDX in Ground Water, Proceedings of the HSRC/WERC Joint Conference on the Environment, May 1996, bekannt. Damit ausführbare Verfahren erfassen Explosivstoffe quantitativ 10 allenfalls unzureichend; problematisch ist auch die Kreuzreaktivität von Antikörpern mit anderen Stoffen.

Des weiteren ist es aus der Praxis bekannt, zum Nachweis von Explosivstoffen Gas- oder Flüssigkeitschromatographie 15 anzuwenden. Hierfür notwendige Meßgeräte sind nicht on-site einsetzbar.

In einem fachfremden technologischen Gebiet ist ein Biosensor unter Verwendung eines immobilisierten, fluo- 20 reszenzmarkierten Aptamers zur Detektion von Thrombin beschrieben (Potyrailo, RA et al, Adapting Selected Nucleic Acid Ligands (Aptamers) to Biosensors, Analytical Chemistry, 70, 3419-3425, 1998). Ein weiterer Biosensor zur Detektion von Thrombin ist in der Literaturstelle Lee, 25 M. et al, A Fiber-Optic Microarray Biosensor Using Aptamers as Receptors, Analytical Biochemistry, 282, 142-146, 2000 offenbart. Diese Literaturstelle beschreibt die Verwendung eines auf Mikroglaskugeln immobilisierten Aptamers zur Detektion von Thrombin.

30

Technisches Problem der Erfindung

Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, ein Verfahren zur Detektion von Explosivstoffen, mittels welchem Explosivstoffe mit verbesserter Empfindlichkeit und Spezifität nachgewiesen werden können und welches die 5 Bestimmung von Explosivstoffen im Feldeinsatz ermöglicht, sowie Analysensubstanzen hierfür anzugeben.

#### Grundzüge der Erfindung

10 Zur Lösung dieses technischen Problems lehrt die Erfindung die Verwendung einer Nukleinsäure zur Detektion eines synthetischen Explosivstoffes, wobei die Nukleinsäure spezifisch an eine molekulare Teilstruktur oder die molekulare 15 Gesamtstruktur des Explosivstoffes bindet und wobei ein Bindungsereignis zwischen der molekularen Teilstruktur oder der molekularen Gesamtstruktur und der Nukleinsäure detektiert wird.

20 Eine Nukleinsäure im Sinne der Erfindung kann als Nukleotidsequenz eine RNA, DNA oder eine PNA enthalten, welche auch derivatisierte nicht-natürliche Nukleotide aufweisen kann. Neben der Nukleotidsequenz kann eine Nukleinsäure aber auch Moleküle enthalten, beispielsweise 25 endständig der Nukleotidsequenz gebunden, welche keine Nukleotide enthalten. Die Nukleinsäure kann insbesondere ein Aptamer sein. Ein Aptamer ist eine Nukleinsäure, welches analog einer Antikörper/Antigenaffinität ("Schlüssel/Schloss") oder gemäß dem Bindungsmodell des 30 induced fit eine Bindungsaffinität zu bestimmten Zielstrukturen auf molekularer Ebene aufweist. Das Oligonukleotid kann auch ein Spiegelmer sein. Ein Spiegelmer ist eine spiegelbildliche, hochaffine Nukleotidsequenz, welche

aus L-Ribose bzw. L-2'-Desoxyribose Einheiten aufgebaut ist.

Mit der Erfindung wird gegenüber den klassischen Analysenmethoden erreicht, dass eine extrem niedrige Nachweisgrenze für die Detektion von Explosivstoffen erhalten und damit die Empfindlichkeit des Testsystems zur Detektion von Explosivstoffen erhöht wird. Ein der Messung vorgeschalteter Anreicherungsschritt zur Aufkonzentrierung der Explosivstoffe ist aufgrund der hohen Nachweisempfindlichkeit nicht notwendig und entfällt. Vorteilhaft gegenüber der Antikörpertechnologie ist (neben der besseren Empfindlichkeit und der on-site Anwendbarkeit), daß Aptamere vollständig in vitro identifizierbar (beispielsweise mittels theoretischer 3-dimensionaler Strukturberechnungen) und herstellbar sind und folglich keine Versuchstiere für Immunisierungszwecke benötigt werden. Dennoch wird eine Spezifität erreicht, welche jenen der Antikörpertechnologie zumindest ebenbürtig, gegenüber der klassischen Analytik weit überlegen ist.

Die Erfindung lehrt weiterhin die in den Ausführungsbeispielen angegebenen Sequenzen für den Einsatz in einem erfindungsgemäßen Verfahren.

25

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß Nukleinsäuren nach Maßgabe ihrer Selektivität bzw. Affinität zu einem Zielmolekül auffinden lassen. Dabei können sich gefundene Nukleotidsequenzen um eine molekulare Teilstruktur, insbesondere im Falle kleiner Zielmoleküle aber auch um eine molekulare Gesamtstruktur gleichsam herumfalten, während andere Nukleotidsequenzen diese Fähigkeit nicht oder in

nur verminderter Maße aufweisen und im Rahmen eines Screenings verworfen werden.

5 Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen

Die molekulare Teilstruktur des Explosivstoffes kann unmittelbar an ein Stickstoffatom gebundenen disponiblen Sauerstoff tragen und aus der Gruppe bestehend aus "Nitrite, Nitrate, Nitro- und Nitrosoverbindungen" ausgewählt sein. Der Explosivstoff kann aus der Gruppe bestehend aus "Nitrobenzolderivate, TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 2-NT, Pikrinsäure, Hexogen, Octogen, Hexyl, Tetryl, Ethylenglykoldinitrat, Diethylenglykoldinitrat, Nitroglycerin, Nitropenta sowie Derivate solcher Verbindungen" ausgewählt sein.

Die Nukleinsäure kann ausgewählt sein aus der Gruppe "Sequenzen der Figuren 8 und 9 oder beliebige Fragmente dieser Sequenzen, sofern diese Fragmente zumindest 6, 10 oder 15 fortlaufende Nukleotide aus einer solchen Sequenz aufweisen". Bevorzugt sind markierte (Unterstreichungen in Fig 8) Konsensussequenzen enthaltende Nukleinsäuren. Die Nuklein- säure kann direkt an einer Festkörperoberfläche, alternativ indirekt über eine Spacerverbindung an der Festkörperoberfläche, immobilisiert sein. Eine Spacerverbindung ist ein Verbindungsmolekül zwischen einer Festkörperoberfläche und einer Nukleinsäure bzw. einem Aptamer. Die Spacerverbindung kann eine Linker-Nukleinsäure, beispielsweise ein kurzer synthetischer DNA-Doppelstrang, sein; es sind aber auch beliebige andere langgestreckte organische Moleküle, typischerweise Oligomere oder Polymere, geeignet. Des weiteren ist auch Bindung über übliche Affinitätspaare, wie beispielsweise

Biotin/Streptavidin, möglich, wobei ein Molekül des Af-  
finitätspaares mit der Nukleinsäure verbunden ist und das  
Komplementmolekül immobilisiert ist. Die Festkörperober-  
fläche kann im Rahmen einer optischen Fiber oder Faser  
5 eingerichtet sein. Es versteht sich, dass auch mehrere  
verschiedene Nukleinsäurenspezies auf der Oberfläche oder  
Faser immobilisiert sein können. In diesem Fall können  
verschiedene Explosivstofftypen, welche jeweils an die  
respektiven Nukleinsäurespezies spezifisch binden,  
10 gleichzeitig detektiert werden.

Das Bindungsereignis kann durch Messung eines Signals  
eines (direkt oder indirekt) markierten und von einem  
Molekül des Explosivstoffes aus der Bindung mit der Nuk-  
15 leinsäure kompetitiv verdrängten Detektormoleküls detek-  
tiert werden. Insbesondere kommt eine Fluoreszenzmar-  
kierung des Detektormoleküls in Frage. Eine Fluo-  
reszenzmarkierung ist eine Markierung mit einem  
Fluorochrom. Ein Fluorochrom kann beispielsweise Fluo-  
20 rescin, Acridinorange oder andere gebräuchliche Fluoro-  
chrome, wie Cy5, Cy3, usw., sein. Das Signal kann durch  
Abnahme der Signalintensität gebundener Detektormoleküle  
oder durch Zunahme der Signalintensität freigesetzter  
(verdrängter) Detektormoleküle gebildet werden. Im Falle  
25 von kooperativen Effekten, wie beispielsweise Stacking,  
kann auch eine Zunahme der Signalintensität gebundener  
Detektormoleküle erfolgen, oder beispielsweise durch FRET-  
Methoden. Im Falle des simultanen Einsatzes verschiedener  
Nukleinsäurespezies kann es sich empfehlen, für die  
30 jeweiligen Nukleinsäurespezies verschieden markierte De-  
tuktormoleküle vorzusehen, damit zwischen Signalen von  
verschiedenen Nukleinsäurespezies diskriminiert werden  
kann.

Die Erfindung lehrt desweiteren eine Vorrichtung zur Detektion eines Explosivstoffes, wobei die Vorrichtung mit einer für eine molekulare Teilstruktur des Explosivstoffes 5 spezifischen Nukleinsäure ausgestattet ist. Die Nukleinsäure kann direkt oder alternativ über eine Spacerverbindung an einer Festkörperoberfläche vorzugsweise einer optischen Faser oder Fiber immobilisiert sein. Bevorzugt ist, dass die Vorrichtung Mittel zur Detektion eines 10 Bindungseignisses zwischen der molekularen Teilstruktur und der Nukleinsäure beispielsweise einen Fluoreszenzdetektor aufweist. In der Vorrichtung kann eine Lichtquelle zur Fluoreszenzanregung der Detektormoleküle eingerichtet sein, wobei die optische Faser oder Fiber an einen Fluoreszenzdetektor angeschlossen sein sollte. Desweiteren 15 können Mittel zur Zuführung einer Probe zu der Nukleinsäure integriert sein. Im Falle der Detektion von Sprengstoffen im sicherheitstechnischen Bereich kann beispielsweise eine Luftprobe aus der Umgebung zu über- 20 prüfender Gegenstände entnommen und analysiert werden. Dabei kann die Luftprobe vor der Detektion zunächst in eine flüssige Phase eingebracht werden in welcher dann eine Detektion, wie beschrieben erfolgt. Es ist aber auch eine Detektion in der Gasphase möglich, wobei beispiel- 25 sweise erfindungsgemäß eingesetzte Nukleinsäuren und/oder Detektormoleküle als Aerosol mit der Gasprobe kontaktiert werden können. Die Nukleinsäure kann mit einem fluo- reszenzmarkierten Detektormolekül beladen sein, wobei die Bindungsstärke zwischen der Nukleinsäure und dem 30 Detektormolekül niedriger als die Bindungsstärke zwischen der Nukleinsäure und der molekularen Teilstruktur sein sollte. Ein Teil der optischen Faser oder Fiber kann in einem Probengas- oder Flüssigkeitsraum, in welchen eine

Gas- oder Flüssigkeitsprobe einbringbar ist, angeordnet sein. Die Wellenlänge des eingestrahlten Lichtes liegt vorzugsweise in einem Bereich kleinerer Wellenlängen als die Wellenlänge des emittierten Lichtes des Markers.

5 Hierbei kann es sich um Wellenlängen des Fluoreszenzbereiches handeln. Der Lichteintrag kann über die optische Fiber oder Faser, über deren Manteloberfläche aber auch über eine oder beide Stirnflächen, erfolgen. Gleiches gilt für die Auskoppelung des emittierten Lichtes (Fluoreszenzsignal). Die optische Fiber oder Faser kann drehbar gelagert sein. Generell ist es selbstverständlich, daß 10 emittiertes Licht nicht direkt detektiert wird, sondern indirekt über Emissionen von Molekülen, die ihrerseits durch das emittierte Licht angeregt werden. In dieser 15 Weise ist auch eine optische Verstärkung einrichtbar.

Es versteht sich, dass die Detektion der Verdrängung des Markers auch in anderer Weise, z.B. mittels eines elektro-chemischen Sensors erfolgen kann. Auch kann die in direk-20 ter Proportionalität zur Analytmenge stehende Konzentration des nichtgebundenen Markers mit einem beispielsweise elektro-enzymatischem Verstärkersystem quantifiziert werden. Hierdurch können erhöhte Empfindlichkeiten des Testsystems erreicht werden.

25

Ein mobiles Meßgerät auf Basis der Faseroptik kann mit einer tragbaren Stromquelle, z.B. einer Batterie, betrieben werden. Zur Aufzeichnung und Auswertung der Meßsignale kann das Meßgerät mit einem elektronischen Bauteil 30 beispielsweise einem Rechner ausgestattet sein und zur Förderung einer Gas- oder Flüssigkeitsprobe eine Fördereinrichtung, beispielsweise eine Schlauchpumpe, aufweisen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

5

Fig. 1: Anlagerung eines exemplarisch dargestellten Explosivstoffes an ein über eine Spacerverbindung immobilisiertes Aptamer

10 Fig. 2: ein über eine Spacerverbindung an eine optische Faser oder Fiber immobilisiertes Aptamer, beladen mit einem fluoreszenzmarkiertem Detektormolekül - vor Kontakt mit einer Explosivstoff haltigen Probe, im Dunkeln ohne Lichteinstrahlung.

15

Fig. 3: ein über eine Spacerverbindung an eine optische Faser oder Fiber immobilisiertes Aptamer, beladen mit einem fluoreszenzmarkiertem Detektormolekül - vor Kontakt mit einer Explosivstoff haltigen Probe, Lichteinstrahlung. Die optische Fiber oder Faser leitet das vom Fluorochrom emittierte Licht innerhalb der optischen Faser oder Fiber.

25 Fig. 4: ein über eine Spacerverbindung an eine optische Faser oder Fiber immobilisiertes Aptamer, beladen mit einem fluoreszenzmarkiertem Detektormolekül - nach Kontakt mit einer Explosivstoff haltigen Probe, im Dunkeln ohne Lichteinstrahlung. Der Explosivstoff hat einige Detektormoleküle verdrängt und ist am Aptamer gebunden.

30 Fig. 5: ein über eine Spacerverbindung an eine optische Faser oder Fiber immobilisiertes Aptamer, beladen

mit einem fluoreszenzmarkiertem Detektormolekül - nach Kontakt mit einer Explosivstoff haltigen Probe, Lichteinstrahlung. Der Explosivstoff hat einige Detektormoleküle verdrängt und ist am Aptamer gebunden. Die optische Fiber oder Faser leitet das vom Fluorochrom emittierte Licht innerhalb der optischen Faser oder Fiber. Die Emission ist geringer als in Fig. 2, da weniger Fluorochrome angeregt wurden.

10

Fig. 6: eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung

15

Fig. 7: Vergleichsversuche zur Bindungsstärke mit einem Aptamer gegenüber einem Antikörper in einem Immunverfahren

Fig. 8a bis 8h: erfindungsgemäße Aptamersequenzen

20 Fig. 9: erfindungsgemäße Konsensus-Sequenzen

In Figur 1 erkennt man eine Nukleinsäure 1 zur Detektion eines synthetischen Explosivstoffes 2, wobei die Nuklein-  
25 säure 1 spezifisch an eine molekulare Teilstruktur 3 des Explosivstoffes 2 bindet. Es handelt sich bei dem Explosivstoff 2 um TNT. Geeignete Nukleinsäuren 1 sind in den Figuren 8 bis 9 dargestellt.

30 Die Figuren 2 bis 5 zeigen den Detektionsmechanismus für Explosivstoffe. Die Nukleinsäure 1 ist über eine Spacerverbindung 6, an einer Festkörperoberfläche 7, beispielsweise der Oberfläche einer optischen Fiber oder Faser 8,

immobilisiert. Figur 2 stellt die Beladung der Nuklein-  
säure 1 mit einem fluoreszenzmarkierten 4 Detektormolekül  
5 und Figur 3 die Detektion eines Bindungseignisses  
durch Messung eines Signals eines fluoreszenzmarkierten 4  
5 Detektormoleküls 5 dar. Die Verdrängung des Detektor-  
moleküls 5 aus der Bindung mit der Nukleinsäure 1 durch  
ein Molekül des Explosivstoffes 2 ist in Figur 4  
dargestellt. In Figur 5 ist dargestellt, dass das Signal  
durch Abnahme der Signalintensität gebundener Detektor-  
10 moleküle 5 gebildet wird.

In Figur 6 in Zusammenschau mit Figur 1 und 5 erkennt man  
eine Vorrichtung zur Detektion eines Explosivstoffes 2 mit  
einer für eine molekulare Teilstruktur 3 des Explosivstof-  
15 fes 2 spezifischen Nukleinsäure 1. Die Nukleinsäure ist an  
einer Festkörperoberfläche 7 immobilisiert. Die Nuklein-  
säure 1 ist über eine Spacerbindung 6 an einer op-  
tischen Faser 8 oder Fiber immobilisiert und mit einem  
fluoreszenzmarkierten 4 Detektormolekül 5 beladen. Es ist  
20 eine Lichtquelle 11 zur Fluoreszenzanregung der Detektor-  
moleküle 5 eingerichtet, wobei die optische Faser 8 oder  
Fiber an einen Fluoreszenzdetektor 9 angeschlossen ist und  
ein Teil der optischen Faser 8 oder Fiber in einem Proben-  
gas- oder Flüssigkeitsraum 12, in welchen eine Gas- oder  
25 Flüssigkeitsprobe 13 einbringbar ist, angeordnet ist. Ein  
mobiles Meßgerät auf Basis der Faseroptik kann mit einer  
tragbaren Stromquelle 14, z.B. einer Autobatterie, betrie-  
ben werden. Zur Aufzeichnung und Auswertung der Meßwerte  
kann das Meßgerät mit einem elektronischen Bauteil  
30 beispielsweise einem Rechner 15 ausgestattet sein und zur  
Förderung der Gas- oder Flüssigkeitsprobe eine Förderein-  
richtung 16 beispielsweise eine Schlauchpumpe aufweisen.

Zum Auffangen der Probe kann ein Auffangbehälter 17 eingerichtet sein.

In der Figur 7 sind Vergleichsversuche zur Bindungsstärke 5 dargestellt. Es sind gezeigt Bindungsuntersuchungen TNT/erfindungsgemäße Nukleinsäure gegenüber TNT/Antikörper. Die Dissoziationskonstante der Aptamerreaktion liegt bei ca.  $k_D = 10^{-8}$ , jene der Antikörperreaktion bei lediglich ca.  $k_D = 10^{-5}$ .

10

Es ist gleichsam in Umkehrung der vorstehenden Verfahrensweise auch möglich, daß Sprengstoffmoleküle an der Festphase (z.B. in einer Durchflusszelle angeordnete Lichtleitfaser mit angeschlossenem Detektor für das von 15 einem Fluorophoren auf Anregung mittels beispielsweise einer Leuchtdiode emittierten Lichtes) immobilisiert und mittels der markierten Nukleinsäure ein Signal erzeugt wird. Diese Umkehrung kann nicht nur einer eigentlichen Messung dienen (die an der Festphase gebundene Nuklein- 20 säuremenge nimmt gleichgewichtsbedingt ab, wenn in der Flüssig- oder Gasphase Sprengstoffmoleküle anwesend sind), sondern es können auch Eichkurven erstellt werden oder Nukleinsäuren auf die erfindungsgemäße Eignung geprüft werden.

25

Erfindungsgemäße geeignete Nukleinsäure- bzw. Aptamersequenzen sind in Figur 8a bis 8h sowie in Figur 9 angegeben. Dabei sind markierte Bereiche (unterstrichene Teilsequenzen) bzw. Konsensusbereiche (jeweils einzeln für 30 sich oder verbunden über eine beliebige Anzahl Nukleotide) jeweils von selbstständiger Bedeutung. Figur 9 zeigt Variationen der Aptamer-Konsensus-Sequenzen; es sind die in den Spalten angegebenen Austauschmöglichkeiten für

Nukleotide vorgesehen. Die vorstehenden Sequenzen sind auch in den Sequenzprotokollen wiedergegeben.

Generell können erfindungsgemäße Sequenzen bzw. Teilsequenzen jeweils als einzelne Moleküle oder einzeln innerhalb eines größeren Moleküls eingesetzt werden. Sie können aber auch beliebig miteinander im Rahmen eines einzelnen Moleküls kombiniert werden. Mittels verschiedener erfindungsgemäßer Sequenzen in einem (Nukleinsäure-) Molekül können verschiedene Explosivstoffe oder ein spezifischer Explosivstoff mit erhöhter Spezifität detektiert werden. Im ersten Fall sind die aneinandergefügten Sequenzen für molekulare Teilstrukturen oder Gesamtstrukturen verschiedener Explosivstoff-Moleküle spezifisch. Im letzteren Fall sind die aneinandergefügten Sequenzen für verschiedene molekulare Teilstrukturen eines einzigen Explosivstoff-Moleküls spezifisch ("bispezifisch" bzw. "multispezifisch"). Es ist aber auch möglich, dass gleiche erfindungsgemäße Sequenzen bzw. Teilsequenzen aneinandergefügt werden, so daß ein einziges Nukleinsäuremolekül mehrere (gleiche) Explosivstoff-Moleküle binden kann. In jedem Falle kann es sich empfehlen, geeignete Spacersequenzen zwischen erfindungsgemäße Sequenzne bzw. Teilsequenzen zwischenzuschalten. Solche Spacersequenzen lassen sich insbesondere im Falle bispezifischer oder multispezifischer Nukleinsäuren beispielsweise im Wege des Molecular Modelling berechnen, wobei die hierfür notwendigen dreidimensionalen Bindungsinformationen zu den verschiedenen Sequenzen sich beispielsweise durch 3D Korrelations NMR (z.B.  $^1\text{H}/^1\text{H}$  oder  $^1\text{H}/^{14}\text{C}$ ) erhalten lassen.

## Patentansprüche:

1. Verwendung einer Nukleinsäure (1) zur Detektion eines Explosivstoffes (2), wobei die Nukleinsäure (1) spezifisch an eine molekulare Teilstruktur (3) oder an die molekulare Gesamtstruktur des Explosivstoffes (2) bindet und wobei ein Bindungsereignis zwischen der molekularen Teilstruktur (3) oder der molekularen Gesamtstruktur und der Nukleinsäure (1) detektiert wird.  
10
2. Verwendung nach Anspruch 1, wobei die molekulare Teilstruktur (3) unmittelbar an ein Stickstoffatom oder an mehrere Stickstoffatome gebundenen disponiblen Sauerstoff trägt.  
15
3. Verwendung nach Anspruch 2, wobei die molekulare Teilstruktur (3) ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus "Nitrite, Nitrate, Nitro- und Nitrosoverbindungen".  
20
4. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Explosivstoff ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus "Nitrobenzolderivate, TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 2-NT, Pikrinsäure, Hexogen, Octogen, Hexyl, Tetryl, Ethylenglykoldinitrat, Diethylenglykoldinitrat, Nitroglycerin, Nitropenta sowie Derivate solcher Verbindungen".  
25  
30
5. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Nukleinsäure (1) ausgewählt ist aus der Gruppe

"Sequenzen der Figuren 8 und 9 oder beliebige Fragmente dieser Sequenzen mit einer Länge von zumindest 6, insbesondere zumindest 10, Nukleotiden".

5

6. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein Bindungsereignis durch Messung eines Signals eines markierten, insbesondere fluoreszenzmarkierten (4), und von einem Molekül des Explosivstoffes (2) aus der 10 Bindung mit der Nukleinsäure (1) kompetitiv verdrängten Detektormoleküls (5) detektiert wird.

7. Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die 15 Nukleinsäure (1), optional über eine Spacerverbindung (6), an einer Festkörperoberfläche (7), insbesondere die Oberfläche einer optischen Fiber oder Faser (8), immobilisiert ist.

20

8. Verwendung nach Anspruch 6 oder 7, wobei das Signal durch Abnahme oder Zunahme der Signalintensität gebundener Detektormoleküle (5) gebildet ist.

25

9. Verwendung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei das Signal durch Zunahme der Signalintensität freigesetzter Detektormoleküle (5) gebildet ist.

30

10. Nukleinsäure (1) zur Verwendung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 gemäß einer der Sequenzen der Figuren 8 oder 9 oder beliebige Fragmente dieser Sequenzen mit

einer Länge von zumindest 6, insbesondere zumindest 10, Nukleotiden.

5 11. Vorrichtung zur Detektion eines Explosivstoffes (2) mit einer für eine molekulare Teilstruktur (3) des Explosivstoffes (2) spezifischen Nukleinsäure (1), vorzugsweise an einer Festkörperoberfläche (7) immobilisiert, mit Mitteln zur Detektion eines 10 Bindungseignisses (9) zwischen der molekularen Teilstruktur (3) und der Nukleinsäure (1) und mit Mitteln zur Zuführung einer Probe (10) zu der Nukleinsäure (1)..

15 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Nukleinsäure (1) über eine Spacerverbindung (6) an einer optischen Faser (8) oder Fiber immobilisiert ist, wobei die Nukleinsäure (1) mit einem fluoreszenzmarkierten (4) Detektormolekül (5) beladen ist, wobei die 20 Bindungsstärke Nukleinsäure (1)/Detektormolekül (5) niedriger als die Bindungsstärke Nukleinsäure (1)/molekulare Teilstruktur (3) ist, wobei eine Lichtquelle (11) zur Fluoreszenzanregung der Detektormoleküle (5) eingerichtet ist, wobei die optische 25 Faser (8) oder Fiber an einen Fluoreszenzdetektor (9) angeschlossen ist und wobei zumindest ein Teil der optischen Faser (8) oder Fiber in einem Probengas- oder Flüssigkeitsraum (12), in welchen eine Gas- oder Flüssigkeitsprobe (13) einbringbar ist, angeordnet 30 ist.